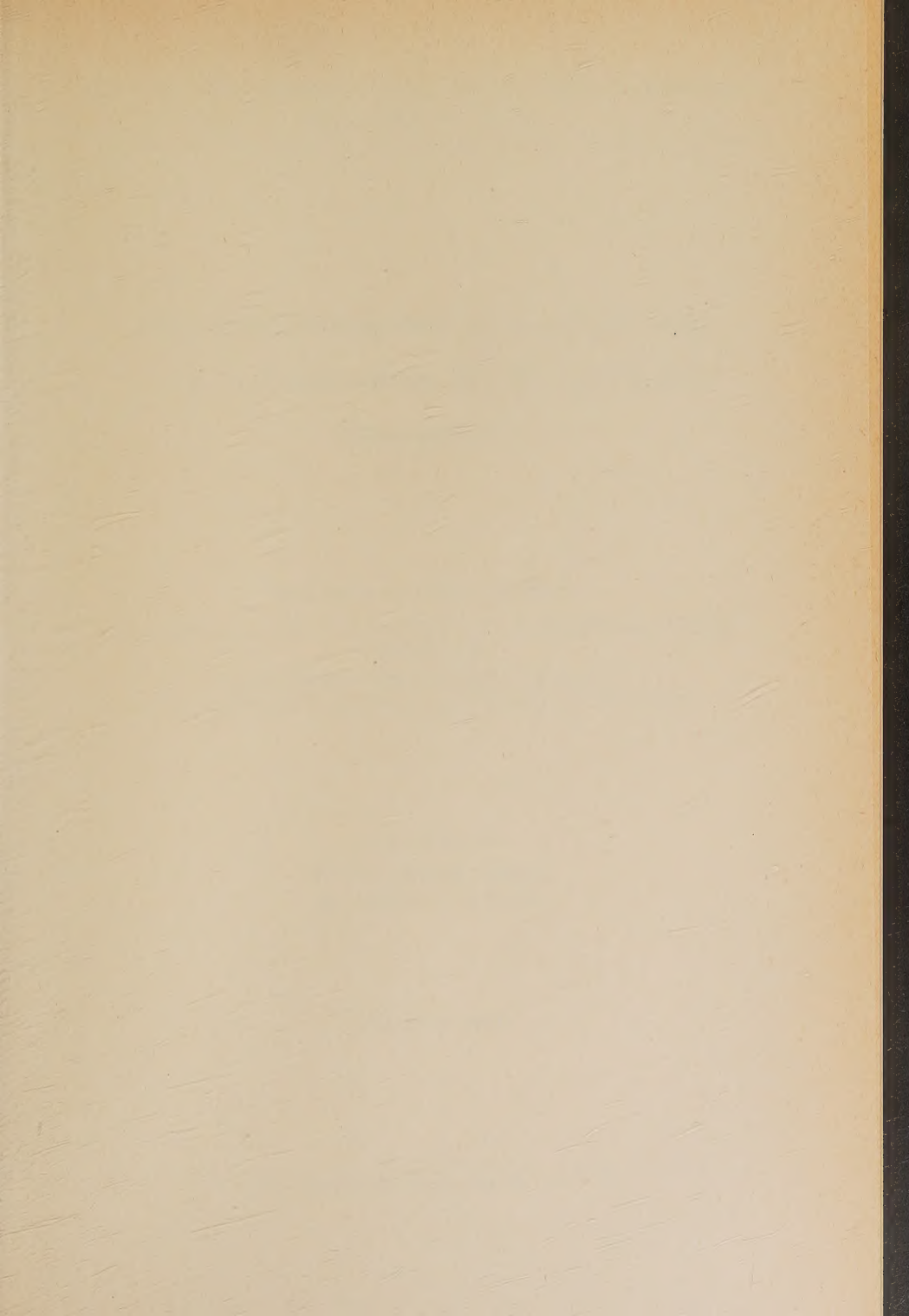


München, 1960.

**Untersuchung der Hämolyse bei
extrakorporalem Kreislauf beim
Menschen**

Wen-Tsung Hung





Digitized by the Internet Archive
in 2026

**Untersuchung der Hämolyse bei
extrakorporalem Kreislauf beim
Menschen**

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfaßt und
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Wen-Tsung Hung
aus China (Formosa)

München 1960

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Referent: Prof. Dr. R. ZENKER

Dekan: Prof. Dr. H. SCHWIEGK

Tag der mündlichen Prüfung: 10.2. - 17.3.1960
(Rigorosum)



EINLEITUNG

Seit dem Jahre 1953 werden intrakardiale Eingriffe mit Hilfe der Herz-Lungen-Maschine an verschiedenen medizinischen Zentren durchgeführt. Dabei kommen Perfusionsapparate verschiedener Arbeitsweise zum Einsatz. Alle Geräte führen zu einer mehr oder weniger großen Traumatisierung des Blutes.

Ganz allgemein müssen an eine Herz-Lungen-Maschine, die vorübergehend die Funktionen von Herz und Lunge übernehmen soll, folgende Forderungen gestellt werden:

1. Ausreichende Aufrechterhaltung des Kreislaufs
2. Ausreichender und schneller Gasaustausch ohne Störung des Säuren-Basen-haushaltes
3. Vermeidung einer Luftembolie
4. Einfache, sichere und übersichtliche Konstruktion und Sterilisation
5. Möglichst geringe Blutfüllmenge
6. Vermeidung exzessiven Bluttraumas.

Wenn Blut durch einen künstlichen Kreislauf zirkuliert, wird es auf Grund der abnormen mechanischen Beanspruchung und des Kontaktes mit blutfremden Substanzen (Plexiglas, Latexgummi, Polyvinylchlorid und Polyäthylen) immer bis zu einem gewissen Grad verletzt. Einen guten Anhaltspunkt für die Traumatisierung des Blutes bietet die auftretende Hämolyse. Mehrere Autoren haben sich mit diesem Fragenkomplex bereits beschäftigt und haben Methoden der Blutpumpung und Oxygenierung, sowie geeignete Materialien auf ihre Einwirkung auf das Blut untersucht.

Diejenigen Faktoren, die maßgeblichen Einfluß auf die Hämolyseentstehung ausüben, können wie folgt zusammengestellt werden:

1. Die Höhe des Bluttraumas ist nach der Art der angewandten Pumpen (17), der Verbindungsstücke, der Schläuche (20), der Bluttemperatur (4) und der Methode der Oxygenierung des Blutes (16) verschieden.
2. Es besteht eine lineare Beziehung zwischen dem Grad der auftretenden Hämolyse und dem Pumpenzeitvolumen (3).
3. Eine Verminderung der Hämolyse kann durch Verwendung von Silikon zur Blutentschaumung erreicht werden (3).
4. Die Hämolyse wird durch Störungen im Blutgerinnungsmechanismus verstärkt.

- 4
5. Auf den Grad der Hämolyse hat die Methode der Vorbereitung des Spenderblutes einen Einfluß, wobei sowohl Aufbewahrungsdauer und mechanische Einwirkungen zur Zeit der Blutabnahme aus den Spendern eine Rolle spielen.

Seit drei Jahren wurden in den chirurgischen Universitätskliniken Marburg und München Tierversuche mit der Herz-Lungen-Maschine nach LILLEHEI und DE WALL und nach KAY-GAERTNER durchgeführt. Auf Grund dieser Erfahrungen wurden mit der Kay-Gaertner-Maschine 90 offene Herzoperationen mit guter Sicherheit ausgeführt.

Der Zweck dieser Arbeit war es, die Bluttraumatisierung bei Anwendung der Herz-Lungen-Maschine nach KAY-GAERTNER, welche durch die Arbeitsgruppe in München weitgehend modifiziert und bei Operationen praktisch gebraucht wurde, durch die Bestimmung der Plasmahämoglobinkonzentration gründlich zu erforschen.

Aufbau und Arbeitsweise dieser Maschine sind an anderer Stelle ausführlich beschrieben (9), (13), (14), (15).

METHODIK

Bei dieser Arbeit wurde die Methode der spektrophotometrischen Bestimmung kleiner Hämoglobinemengen nach HUNTER (12) in modifizierter Art angewandt. Das Prinzip dieser Methode besteht darin, daß das Hämoglobin durch 10 % Natronlauge in Hämochromogen übergeführt und dieses durch Zusatz von Natriumdithionit zu reduziertem Hämoglobin umgewandelt wird. Die Extinktion bei $\lambda 560 \text{ m}\mu$ und bei $\lambda 580 \text{ m}\mu$ zeigt getrennt das Adsorptionsmaximum von reduziertem Hämoglobin einerseits und von störenden Stoffen andererseits an.

Man nimmt 8 ml Blut. Dann läßt man das Blut 20 Min. mit 3000 Umdrehungen zentrifugieren. Zu 1 ml Plasma gibt man 3 ml 10 % Natronlauge. 5 - 10 Min. bevor die Messung beginnt, setzt man ein paar Körner Natriumdithionit zu und schüttelt. Nun wird die Extinktion im Beckmann Spektrophotometer bei $\lambda 560 \text{ m}\mu$ und $\lambda 580 \text{ m}\mu$ mit 10 % Natronlauge als Leerwert bestimmt. Bei sehr starker Hämolyse wird 0.5 ml Plasma mit 3.5 ml 10 % Natronlauge verdünnt. Diese Methode gilt für die Bestimmung kleiner Hämoglobinemengen und ihr Bestimmungsfehler beträgt weniger als $\pm 5 \%$.

Berechnung:

$$(\text{Extinktion } \lambda 560 \text{ m}\mu - \text{Extinktion } \lambda 580 \text{ m}\mu) \times 259 = \text{Hb mg } \%$$

Wenn 0.5 ml Plasma mit 3.5 ml 10 % Natronlauge verdünnt wird, gilt folgende Formel:

$$(\text{Extinktion } \lambda 560 \text{ m}\mu - \text{Extinktion } \lambda 580 \text{ m}\mu) \times 518 = \text{Hb mg } \%$$

ERGEBNISSE

In der Tabelle 1 ist die Plasmahämoglobinkonzentration des Patientenblutes, welches kurz vor der Operation aus der Vene entnommen wurde, eingetragen. Es ist ersichtlich, daß die Plasmahämoglobinkonzentration des Patientenblutes bei 0.52 mg % bis 13.2 mg % mit dem Mittelwert von 5.8 mg % liegt.

In der Tabelle 2 ist die Plasmahämoglobinkonzentration des Spenderblutes von 30 Versuchspersonen eingetragen. Das Spenderblut wurde einige Stunden vor Verwendung des Blutes, immer aber am Operationstage, entnommen und teils bei Zimmertemperatur belassen, teils auf Körpertemperatur unmittelbar vor Beginn der extrakorporalen Zirkulation erwärmt. Zur Gewinnung des Blutes wurden nichtzollsilikonisierte Vakuumflaschen verwandt, die mit 30 ml 5 % Glukoselösung, 30 mg Heparin pro Liter Blut beschickt wurden. Blutproben wurden aus dem Flaschenblute entnommen. Es zeigt sich, daß die Plasmahämoglobinkonzentration des Spenderblutes bei 14.2 mg bis 69.9 mg in 100 ml Plasma liegt. Der Mittelwert beträgt 34.7 mg %.

Vor der Inbetriebnahme unserer Herz-Lungen-Maschine müssen die zum Gasaustausch verwandten Stahlgitter mit Ringerlösung benetzt werden, erst dann kann man das Blut hinzugeben. Die Benutzung der Ringerlösung führt zu einer gewissen Verdünnung des Spenderblutes innerhalb der Oxygenierkammer. Zum Zweck der Bestimmung des Grads der Verdünnung haben wir vor und nach Verdünnung den Hämatokritwert des Spenderblutes und die Blutmenge in der Oxygenierkammer bestimmt.

Diese Ergebnisse sind in der Tabelle 3 zusammengestellt. Dabei beträgt der Mittelwert des Hämatokrits vor der Verdünnung 48.1 % und nach der Verdünnung 37.8 %, die Blutmenge innerhalb der Oxygenierkammer 2257 ml. Man kann die Menge der zugefügten Ringerlösung aus nachstehender Gleichung ersehen, diese Menge ist in der Tabelle 3 eingetragen.

$$Ht_1 (V_1 - V_2) = V_1 Ht_2$$

$$V_2 = \frac{V_1 (Ht_1 - Ht_2)}{Ht_1}$$

V_1 Die Menge des Spenderblutes nach der Verdünnung in der Oxygenierkammer

V_2 Die Menge der zugefügten Ringerlösung

Ht_1	Hämatokritwert des Spenderblutes vor der Verdünnung
Ht_2	Hämatokritwert des verdünnten Spenderblutes.

Es zeigt sich, daß die Menge der zugefügten Ringerlösung von 157 bis 717 ml beträgt, bei einem Mittelwert von 444.7 ml. Dann kann man die Rate der Plasma-verdünnung auf folgende Weise ausrechnen.

Die Flüssigkeitsmenge im 2257 ml Blut

$$= 2257 \left(\frac{100 - 37.8}{100} \right) \\ = 1403.854 \text{ ml}$$

Die Rate der Plasmaverdünnung

$$= 1403.854 / (1403.854 - 444.7) \\ = \frac{1.46}{1.0}$$

In der Tabelle 4 ist die Plasmahämoglobinkonzentration des Maschinenblutes von 30 Perfusionen zusammengestellt, wobei die Blutproben vor Beginn der extrakorporalen Zirkulation abgenommen wurden. Die Plasmahämoglobinkonzentration des Maschinenblutes liegt dabei zwischen 10.4 und 48.2 mg per 100 ml Plasma. Der Mittelwert ist 22.8 mg %.

In der Tabelle 5 und 6 und in der Abb. 1 sind die Plasmaspiegel des Hämoglobins am Ende des bypass bei Operationen von 42 Versuchspersonen eingetragen. Dabei teilen wir ein in zwei Gruppen: 1. Patienten ohne und 2. Patienten mit Blausucht. Es wurden 14 Fälle mit Blausucht und 28 Fälle ohne Blausucht untersucht. Die Bluttraumatisierung in mg % Hämoglobin wurde in Beziehung gesetzt zur Anzahl der Durchgänge des Blutes durch den Eigenkreislauf des Patienten und durch die Herz-Lungen-Maschine.

Folgende Berechnungen wurden angestellt: Wenn V das Blutvolumen ist und Q das Strömungsminutenvolumen, dann ist Q/V = Passagenzahl pro Minute und $Q/V \times$ Perfusionsdauer = Gesamtzahl der Durchgänge.

Die Gesamtzahl der Passagen ist in Abb. 1 auf der Abszisse angezeigt. Auf der Koordinate sind die Hämoglobinwerte angegeben. Die Perfusionsdauer liegt bei Patienten ohne Blausucht zwischen 14 und 165 Minuten mit einem Mittelwert von 32.1 Minuten, bei Blausucht von 24 bis 113 Minuten mit einem Mittelwert von 64.5 Minuten. Der Plasmaspiegel des Hämoglobins liegt am Ende des bypass bei Patienten ohne Blausucht zwischen 7.3 und 158 mg % mit dem Mittelwert von 29.0 mg % und bei Blausucht zwischen 28.0 und 138 mg % mit einem Mittelwert

von 62.5 mg %. Der Mittelwert der Plasmahämoglobinkonzentration bei einmaligem Durchgang des Blutes durch die Maschine und den Organismus ist bei Blausucht 2.3 mg % und bei Patienten ohne Blausucht 1.8 mg %.

Zum Zwecke der Bestimmung des Hämolysegrades, welcher nur bei Durchgang des Blutes durch die Maschine entsteht, haben wir Modellexperimente durchgeführt. Dabei benutzten wir das Blut, das bei verhältnismäßig kurzen offenen Herzoperationen, zum Beispiel bei Operationen von Vorhofseptumdefekt, gebraucht wurde. Dabei floß das Blut vom Rezirkulationsreservoir - Pumpe - Oxygenator - arterielle - Pumpe - arterielle und venöse Schläuche und dann in das Rezirkulationsreservoir zurück. Am Anfang des Experiments, nach 10, 20, 30, 40, 50 und 60 Minuten (Ende des Experiments) wurde Blut aus der Maschine für die Bestimmung der Plasmahämoglobinkonzentration abgenommen. Abb. 2 zeigt die Ergebnisse dieses Experiments, welches unter folgenden Bedingungen gemacht wurde:

Perfusionsvolumen 2.0 - 2.3 L/Min., durchgelaufene Blutmenge 2.2 - 2.7 Liter, keine Sauerstoff- und Kohlendäuredurchflutung der Oxygenirkammer. Es ist ersichtlich, daß die Hämolyse bei einmaligem Durchgang des Bluts durch die Maschine um 0.3 mg % zunimmt.

DISKUSSION

Die Konzentration von freiem Hämoglobin im Blut, das von den Patienten unmittelbar vor Beginn der Herzoperation entnommen wurde, lag zwischen 0.52 und 13.2 mg % mit einem Mittelwert von 5.8 mg %. Diese Werte liegen etwas höher als die von GROVE-RASMUSSEN (11) und SCHIELDS (19) als normal angegebenen. Als Normalwerte fanden GROVE-RASMUSSEN 1.6 - 6.4 mg % und SCHIELDS weniger als 5 mg %. Der geringfügige Unterschied zwischen unseren Ausgangswerten und denjenigen der anderen Autoren mag auf unterschiedliche Abnahmetechnik (Größe des Saugdruckes, Verwendung von silikonisierten Röhrchen etc.) beruhen.

Bestimmungen der Plasmahämoglobinkonzentration von 30 Spendern wurden durchgeführt. Das Blut durchlief bei der Abnahme mit großer Geschwindigkeit zwei Stenosen in Form von Kanülen mit einem Durchmesser von 1.4 mm. Die gefundenen Plasmahämoglobinwerte lagen erstaunlich hoch, nämlich bei 34.7 mg % im Mittel. Dies entspricht einem Wert wie er etwa bei 116 Durchgängen des Blutes durch die kurzgeschlossene Herz-Lungen-Maschine erreicht wird. Demgemäß läßt sich aus unseren Untersuchungen der wichtige Schluß ziehen, daß dem Spenderblut und insbesondere der Abnahmetechnik Beachtung geschenkt werden muß.

Zur Zeit werden Versuche durchgeführt, die die Ursache und den Entstehungsort der Hämolysierung des Spenderblutes näher klären sollen. Wenngleich die beobachtete Hämolyse im Spenderblut als solche keinen toxischen Einfluß auf den Patienten haben dürfte, so ist doch zu befürchten, daß neben den unmittelbar zerstörten Zellen eine allgemeine Schädigung der Erythrozyten stattgefunden haben muß. Da bekannt ist, daß die Überlebensdauer der Erythrozyten von Spenderblut nach extrakorporaler Zirkulation eingeschränkt wird (2), scheint es umso wichtiger das initiale Trauma für die Spenderblutzellen so klein als möglich zu halten.

Die Untersuchung des Spenderblutes nach Einfüllen in die Herz-Lungen-Maschine, aber vor Anschluß des Apparates an den Patienten, lag bei 22.8 mg % im Mittel, d. h. also niedriger als im Spenderblut vor Einfüllen in die Maschine. Um dieses scheinbare Paradoxon zu klären wurden Berechnungen der Blutverdünnung angestellt, die während des Auflaufens des Blutes auf die vorher mit Ringerlösung benetzten Oxygeniergitter entstand. Wie aus Tabelle 3 ersichtlich, werden bei jeder Blutfüllung durchschnittlich 444.7 ml Ringerlösung dem eingefüllten Spenderblut zugesetzt.

Infolgedessen wird die zunächst eingefüllte Plasmamenge im Mittel 1.46fach verdünnt. Die Plasmahämoglobinkonzentration des Spenderblutes müßte daher

vom Ausgangswert von 34.7 mg % auf einen Verdünnungswert von 23.8 mg % abfallen und zeigt somit gute Übereinstimmung mit dem gemessenen Wert von 22.8 mg % nach der Verdünnung.

Zur weiteren Abklärung der Hämolyseentstehung vor Beginn der eigentlichen Perfusion wurden Modellversuche angestellt, bei denen Blut durch die kurzgeschlossene Herz-Lungen-Maschine gepumpt wurde. Dabei ergab sich eine Plasmahämoglobinzunachsrate von 0.3 mg % pro Durchgang durch die Maschine (Abbildung 2). FERBERS, der ähnliche Versuche ebenfalls unter Verwendung eines Gitteroxygenators durchführte, fand eine Plasmahämoglobinzunachsrate von 0.27 mg %, errechnet aus seinen Absolutwerten (16). Es handelt sich hierbei um einen Wert, der dem unsrigen sehr nahe liegt. Andererseits ergaben die Modellversuche von FERBERS (7) sowie von BÜCHERL (3) eine wesentlich größere Bluttraumatisierung, wenn ein Dispersionsoxygenator, d. h. ein Gerät, bei dem die Oxygenierung durch Einblasen von Sauerstoff ins Blut erzielt wird, verwandt wurde. Bei den Versuchen von FERBERS betrug die Zunahme des Plasmahämoglobins pro Durchgang 21.2 mg %.

BÜCHERL fand eine ähnlich große Blutzerstörung bei Versuchen mit dem Schaum-oxygenator und konnte zudem zeigen, daß die Bluttraumatisierung von der Größe der Gasdurchströmung abhängig war.

Die Hämolyseentstehung bei Operationen mit Hilfe des extrakorporalen Kreislaufs ist in den Tabellen 5 und 6 sowie in der Abbildung 1 dargestellt. Auch in Abbildung 1 wurde die Hämolyse nicht als eine Funktion der Perfusionsdauer, sondern der Anzahl der Durchgänge des Blutes durch die Maschine dargestellt.

Bei dieser Berechnung werden berücksichtigt die unterschiedlichen Blutmengen der verschieden großen Patienten und die unterschiedlichen Perfusionsminutenvolumina, so daß ein Vergleich der verschiedenen Perfusionen ermöglicht wird. Allerdings ist die Abschätzung der Patientenblutmenge mit einem gewissen Fehler behaftet, da trotz der abnormen Kreislaufverhältnisse dieser Kranken ein Eigenblutvolumen von 7 % des Körpergewichtes angenommen wurde.

Die Hämolysewerte, die am Ende der extrakorporalen Zirkulation gemessen wurden, stehen in einem linearen Verhältnis zur Zahl der Blutdurchgänge durch Patienten und Maschine. Sämtliche Messungen liegen wesentlich höher als die Werte, die bei den Modellversuchen gewonnen wurden. Die Plasmahämoglobinzunachsrate bei nichtcyanotischen Patienten betrug 1.8 mg %, bei cyanotischen Patienten 2.3 mg % im Mittel. Eine Betrachtung der Abbildung 1 läßt darauf schließen, daß bei 3 cyanotischen Patienten eine unerwartet hohe Hämolyse eingetreten war, während im übrigen kein Unterschied zwischen Cyanotikern und Nichtcyanotikern bestand. Der Grad der Hämolyseentstehung bei diesen beiden Gruppen war in der Arbeit von DE WALL und Mitarbeitern (5) ebenfalls nicht signifikant unterschiedlich.

Der wichtigste Schluß, der aus den Ergebnissen der Tabelle 5 und 6 unter Abbildung 1 gezogen werden kann, ist der, daß bei Einschalten des Patienten in den Kreislauf eine wesentlich höhere Hämolyse entsteht, als bei Rezirkulationsversuchen. Dieser Befund steht im Widerspruch mit vielen Beobachtungen über die Absorption, den Abbau und die Ausscheidung von Hämoglobin bei experimenteller Hämolyse.

Prinzipiell stehen dem Organismus folgende Wege der Hämoglobinentfernung offen.

1. Filterung im reticulo-endothelialen System der Milz, der Leber und des Knochenmarkes (8).
2. Katabolismus zu Methämalbumin in der Blutbahn bei hohem Plasmaspiegel (6).
3. Ausscheidung durch die Niere bei Überschreiten der Nierenschwelle, die beim Menschen bei 135 bis 250 mg % liegt (1) (10) (18).

Das schnelle Verschwinden von freiem Plasmahämoglobin im Organismus demonstrierte FERBERS (7) in Untersuchungen, bei denen er in einer kurzgeschlossenen Maschine vom Dispersionstyp die Plasmahämoglobin auf hohe Werte ansteigen ließ und dann einen Hund an das Gerät anschloß. Nach Anschluß des Tiers stieg die Plasmahämoglobinkonzentration langsamer an als bei Rezirkulation.

Bei unseren Versuchen lagen die Verhältnisse anders. Die Plasmahämoglobinkonzentration stieg während der Körperdurchströmung schneller an als bei Rezirkulation des Blutes in der Maschine. Diese Ergebnisse lassen darauf schließen, daß bei der extrakorporalen Zirkulation beim Patienten zusätzliche hämolysefördernde Faktoren wirksam sind. Der einzige Unterschied zwischen klinischer Perfusion und Modellversuch bestand darin, daß bei den klinischen Perfusionen zum Teil große Mengen vom Blut aus den eröffneten Herzhöhlen unter Luftbeimengung abgesogen und nach Durchlauf durch eine Pumpe dem Kreislauf wieder zugeführt wurden. Es handelt sich dabei um Coronarvenenblut sowie um den Rückfluß aus den Bronchialvenen, der bei cyanotischen Patienten besonders groß zu sein pflegt. Im Augenblick sind Untersuchungen über die Blutzerstörung im Blutabsaugsystem im Gange, wobei besondere Beachtung der Schaumentstehung und der Fortbewegung von Schaum durch die Coronarpumpen Beachtung geschenkt wird. Vorläufige Messungen des Hämolysegrades des durch die Saugleitung gelaufenen Blutes ergaben in jedem Fall wesentlich höhere Werte als sie gleichzeitig im venösen Blut gemessen wurden.

ZUSAMMENFASSUNG

Zweck dieser Arbeit war die Bestimmung der Erythrozyentraumatisierung bei der klinischen Anwendung einer Herz-Lungen-Maschine vom Gittertyp durch Messungen der Plasmahämoglobinkonzentration. Außerdem wurden Messungen der Plasmahämoglobinkonzentration im Spenderblut in der Herz-Lungen-Maschine vor Anschluß an den Patienten und bei Rezirkulation der Herz-Lungen-Maschine ohne Patienten angestellt. Dabei wurden folgende Ergebnisse gewonnen.

1. Die Plasmahämoglobinkonzentration der Patienten vor Beginn der extrakorporalen Zirkulation lag bei 5.8 mg %.
2. Die Plasmahämoglobinkonzentration in den Spenderblutkonserven lag bei 34.7 mg % im Mittel.
3. Die Plasmahämoglobinkonzentration des Maschinenblutes vor Beginn der extrakorporalen Zirkulation entspricht derjenigen des Spenderblutes.
4. Der Plasmahämoglobinzuwachs bei einmaligem Durchgang des Blutes durch die kurzgeschlossene Herz-Lungen-Maschine beträgt 0.3mg.
5. Die Plasmahämoglobinzuwachsrates bei einmaligem Durchgang des Blutes durch die Herz-Lungen-Maschine und den Patienten beträgt bei Patienten ohne Blausucht 1.8 mg % und bei Blausucht 2.3 mg %. Die Beziehung zwischen Plasmahämoglobinkonzentration und Durchgangszahl des Blutes durch die Maschine ist linear.

Der Befund einer höheren Hämolyse bei klinischen Perfusionen als bei Modellversuchen läßt darauf schließen, daß bei klinischen Perfusionen zusätzliche erythrocytenschädigende Faktoren im Spiel sind. Vorläufige Untersuchungen haben ergeben, daß dieser Unterschied durch die schwere Bluttraumatisierung in den Saugleitungen, die das Coronar- und Bronchialvenenblut aus den offenen Herzhöhlen entfernen, zu suchen ist.

TABELLE 1

Die Plasmahämoglobinkonzentration des Patientenblutes

Versuch Nr.	Hb mg %
1	3.9
2	3.1
3	3.6
4	2.0
5	13.2
6	12.0
7	6.7
8	2.5
9	4.8
10	4.1
11	11.4
12	3.9
13	12.2
14	0.52
15	2.6
16	5.4
17	4.1
18	6.0
19	5.0
20	8.1
Mittelwert	5.8

TABELLE 2

Die Plasmahämoglobinkonzentration des Spenderblutes

Versuch Nr.	Zahl der Untersuchungen	Hb mg %
1	4	28.6
2	4	45.5
3	4	43.0
4	4	34.5
5	4	25.0
6	1	14.2
7	1	26.4
8	1	17.0
9	1	46.6
10	1	69.9
11	1	21.8
12	1	59.0
13	1	40.9
14	1	23.3
15	1	15.3
Mittelwert		34.7

TABELLE 3

Zusammenstellung der Werte für Ht des Spenderblutes vor und nach der Benutzung von Ringerlösung, Blutmenge in der Oxygenierkammer nach der Verdünnung und Menge der zugefügten Ringerlösung.

Versuch Nr.	Ht		Blutmenge nach der Verdünnung in der Maschine ml	Menge der zugefügten Ringerlösung ml
	vor Verdünnung ‰	nach Verdünnung ‰		
1	48.0	33.5	2100	634
2	48.0	39.0	2170	408
3	48.0	36.0	2500	625
4	47.5	38.0	2140	157
5	48.0	37.5	2300	359
6	49.5	37.0	2350	593
7	47.5	39.5	2150	362
8	47.8	39.2	2250	405
9	48.0	43.2	2100	187
10	49.0	35.0	2510	717
Mittelwert	48.1	37.8	2257	444.7

TABELLE 4

Die Plasmahämoglobinkonzentration des Maschinenblutes (vor dem bypass)

Versuch Nr.	Hb mg %
1	18.8
2	11.4
3	24.2
4	19.8
5	28.0
6	20.6
7	15.2
8	26.2
9	16.5
10	26.2
11	26.9
12	15.5
13	27.8
14	38.3
15	19.0
16	10.4
17	15.5
18	20.5
19	17.4
20	20.7
21	48.2
22	17.9
23	18.9
24	25.4
25	32.9
26	15.5
27	15.0
28	41.0
29	24.3
30	26.2
Mittelwert	22.8

TABELLE 5

Zusammenstellung der Werte für Perfusionsdauer, Plasmahämoglobinkonzentration am Ende bypass und Q/V-Dauer bei Operationen ohne Blausucht

Versuch Nr.	Perfusionsdauer Min.	Hb mg %	Q/V-Dauer
1	20	13.0	9.0
2	14	25.0	6.83
3	30	38.0	16.5
4	26	12.0	14.3
5	24	10.6	12.48
6	21	8.3	11.76
7	44	30.8	22.88
8	25	7.3	15.50
9	70	81.1	35.70
10	35	28.7	17.15
11	26	30.2	15.86
12	30	25.9	15.30
13	77	44.5	29.56
14	38	22.3	14.82
15	21	17.6	11.97
16	165	158.0	79.13
17	30	23.6	12.83
18	19	14.8	9.66
19	15	19.4	8.04
20	16	24.3	7.56
21	14	27.5	8.73
22	27	8.5	14.47
23	22	20.2	10.21
24	23	24.6	12.54
25	20	35.0	9.79
26	17	14.8	8.47
27	15	23.8	7.08
28	15	22.3	8.09

Mittelwert 32.1 29.0 15.9

Hämolyse pro Min. $29/32.1 = 0.9$ mg %

Hämolyse pro Durchgang $29/15.9 = 1.8$ mg %

TABELLE 6

Zusammenstellung der Werte für Perfusionsdauer, Plasmahämoglobinkonzentration am Ende bypass und Q/V•Dauer bei Operationen mit Blausucht

Versuch Nr.	Perfusionsdauer Min.	Hb mg %	Q/V•Dauer
1	45	61.0	24.8
2	31	82.0	13.8
3	41	39.6	20.3
4	79	36.3	32.02
5	71	58.2	30.14
6	72	36.3	23.21
7	74	46.9	26.68
8	70	34.9	27.52
9	24	28.0	12.0
10	30	116.6	12.85
11	113	138.3	37.23
12	101	74.0	46.41
13	80	62.7	37.47
14	72	60.0	33.66
Mittelwert	64.5	62.5	27.0
Hämolyse pro Min.	$62.5/64.5 = 0.97 \text{ mg \%}$		
Hämolyse pro Durchgang	$62.5/27.0 = 2.3 \text{ mg \%}$		

Abb. 1: Der Plasmaspiegel des Hämoglobins am Ende des
bypass bei Operationen von 42 Versuchspersonen

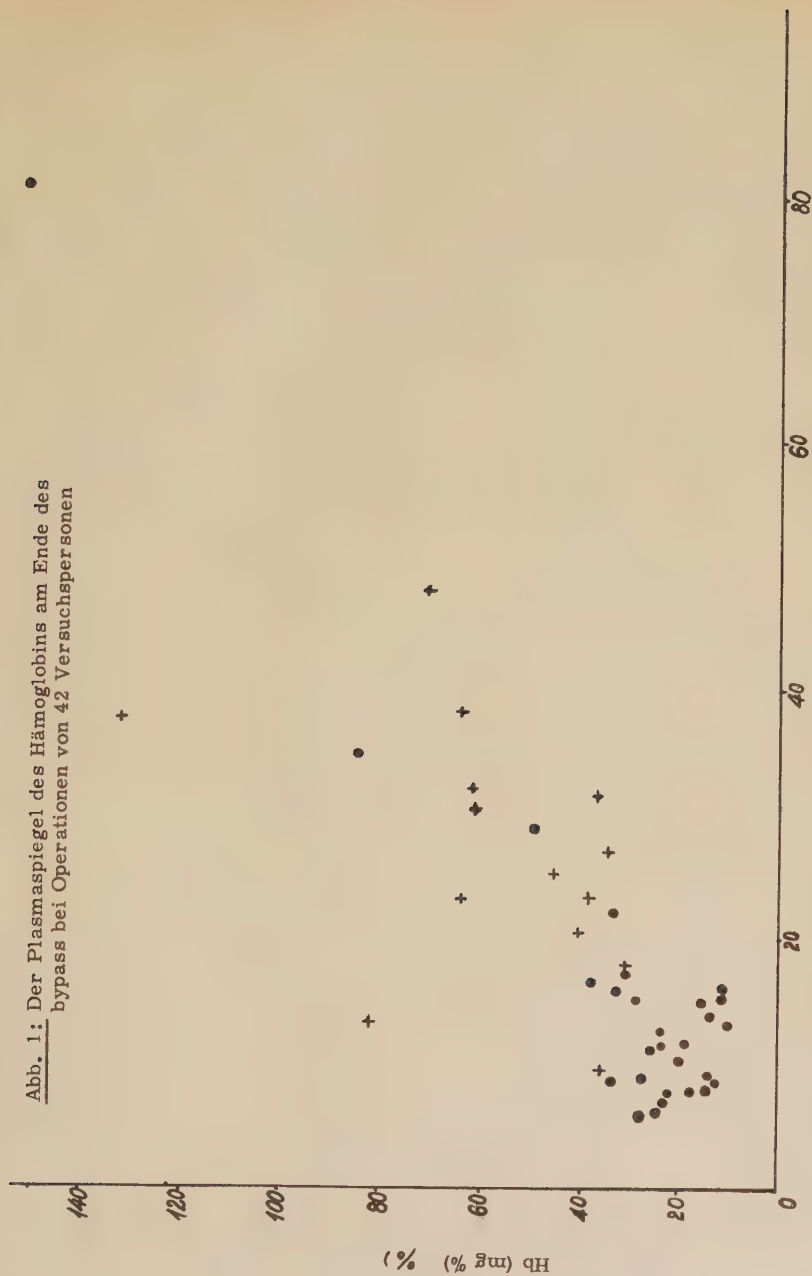


Abb. 2: Die Plasmahämoglobinzunachsrte, welche nur beim Durchgang des Blutes durch die Maschine entsteht.



Die Gesamtzahl der Durchgänge des Blutes.

SCHRIFTTUM

1. Brandt, J. L., Frank, N. R., and Lichtman, H. C.:
Blood 6, 1152 - 1158 (1951)
2. Brown, I. W. and Durham, J. R.:
Extracorp. Circ. P. 263.
Springfield: Ch. C. Thomas (1958)
3. Bücherl, E. S.: Thoraxchirurgie, 5, 63 (1957)
4. Bücherl, E. S.: Thoraxchirurgie, 6, 327 (1959)
5. De Wall, R. A. etc.:
J. thoracic Surgery: 37, 325 - 333 (1959)
6. Fairly, N.H.: Brit. M. J., 2, 213 - 217 (1940)
7. Ferbers, E. W. etc.:
J. thoracic Surgery, 36, 23 - 32 (1958)
8. Flink, E. B.: J. Lab. & clin. Med. 32, 223 - 261 (1947)
9. Gibbon, Jr., J. H.: Minn. Med., 37, 171 (1954)
10. Gilligan, D. R., Altschulte and Katersky, E. M.:
J. clin. Invest. 20, 177 - 187 (1941)
11. Grove-Rasmussen M. and Soutter L.:
Am. J. clin. Path., 20, 434 (1950)
12. Hunter, F. T., Grove-Rasmussen M. and Soutter L.:
Am. J. clin. Path., 20, 429 (1950)
13. Kay, J. H. and Anderson, R. M.:
J. thorac. Surg., 36, 4, 463 (1958)
14. Kay, J. H. and Gaertner R. A.:
Surg. Forum, 7, 267 (1956)
15. Kirklin, J. W., Theye, R. A. and Patrick, R. T.:
Extracorp. Circ. p. 57.
Springfield: Ch. C. Thomas (1958)
16. Kirklin, J. W., Theye, R. A. and Patrick, R. T.:
Extracorp. Circ. p. 64.
Springfield: Ch. C. Thomas (1958)

17. McCaughan J. S., McMichael, Jr. H., Schuder, J. C. and Kirby, C. K.:
Surg., 44, 210 - 219 (1958)
18. Ottenberg, R., Fox, C. L., Jr.:
Am J. Physiol. 123, 516 - 525 (1938)
19. Schields T. W. and Rambach W. A.:
Surg. clin. North America, 39 (No. 1), 121 - 131 (1959)
20. Stewart, J. W. and Sturridge, M. F.:
Lancet, February 1959, p. 340 - 342

Am Ende dieser Arbeit möchte ich meinem
Herrn Professor Dr. R. ZENKER für das mir gegebene
Thema herzlichen Dank sagen.

Ebenso möchte ich mich bedanken bei meinem
Kollegen Dr. H. BORST für die mir bei der Ausarbeitung
geleistete Hilfe.

LEBENS LAUF

Ich bin am 19. November 1923 in der Stadt Tsing-tsu in Taiwan (Formosa) geboren. Dort verbrachte ich meine Jugendjahre.

Nachdem ich die Ober-Schule zu Tsing-tsu fünf Jahre lang besucht hatte, ging ich nach Japan, wo ich die Himeji-Oberschule zwei Jahre besuchte. Am 1. April 1944 trat ich in die medizinische Fakultät der Taiwan Universität ein, die ich im Juli 1949 verließ.

Danach arbeitete ich in der chirurgischen Abteilung des Krankenhauses derselben Universität nacheinander als "intern", "assistant resident", "resident", "chief resident" und "visiting surgeon". Im August 1958 wurde ich zum Privatdozent an demselben Institut ernannt.

Seit November 1958 erhalte ich die Alëxander-von-Humboldt-Stiftung und bin als Gastarzt in der chirurgischen Universitätsklinik München tätig.

